

## EUROPEAN PATENT SECTION (PART)

Publication date and  
Patent release:  
**31.07.2002 Bulletin 2002/31**

Registration Number: **98951539.0**

Registration Date: **23.10.1998**

Int. Cl.: **G05D 1/03**

International Registration Number:  
**PCT/FR98/02270**

International Publication Number :  
**WO 99/22281 (06.05.1999 Gazette  
1999/18)**

### **METHOD FOR CALIBRATING THE INITIAL POSITION AND THE ORIENTATION OF ONE OR SEVERAL MOBILE CAMERAS**

Designated contracting nations (states):

**DE ES FR GB UT SE**

Priority: **24.10.1997 FR 9713375**

Publication date of the request:

**13.10.1999 Bulletin 1999/41**

Holder of rights: **COMMISSARIAT A  
L'ENERGIE ATOMIQUE  
75015 Paris (FR)**

Inventors:

- **ARNOUL, Patrick**  
F-78720 Dampierre en Yvelines (FR)

- **GUERIN, Jean-Pierre**  
F-91400 Orsay (FR)

- **LETELLIER, Laurent**  
F-92260 Fontenay aux Roses (FR)

- **VIALA, Marc**  
F-78280 Guyancourt (FR)

Representative : **Ilgart, Jean-Christophe et al**  
c/o Societe Brevatome,  
3, rue du Docteur Lanceraux  
75008 Paris (FR)

Reference Documents:

**WO-A-94/29774 FR-A-2 749 419  
FR-A-2 760 277 US-A-5 285 397**

- **M.A. Abidi, T. Chandra, "Pose  
estimation for camera calibration  
and landmark tracking"**  
Proceedings of the International  
conference on robotics and  
automation, US, Los Alamitos, 13  
May 1990, pages 420-426,  
XP000139944

- **D. Oberkamp, D.F. DeMenthon,  
L.S. Davis, "Iterative pose  
estimation using coplanar feature  
points" Computer Vision and  
Image Understanding, vol. 63,  
no. 3, 1 May 1996, pages  
495-511, XP000597554**

- **R. Horaud et al., "An analytic  
solution for the perspective  
4-point problem", Computer  
vision graphics and image  
processing, vol. 47, no. 1, 1 July  
1989, pages 33-44 , XP002050119**

<sup>1</sup> Reminder: Anyone can oppose the delivered European patent, within a 9 month time from the date of publication, with the European Patent Office. The opposition must be presented in writing and justified. It will only be considered filed once the opposition tax is paid. (Art. 99(1) European patent convention.

## Description

[0001] The invention refers to a calibration procedure of the position and orientation of several mobile cameras, and its measuring application on a stationary object.

[0002] It can have different application by taking at least one picture of these objects by the cameras and calculating their position based on their placement (track) on the pictures and the position of the cameras.

[0003] A field for which it is useful to calibrate the positions and orientations of the cameras is the recognition and census of road signs. Successively observed by at least one camera mounted on a vehicle circulating (traveling) on the road. This would create a database for automatic driving. The vehicle's position could be periodically evaluated by a GSP system of "geostationary" satellites, between two assessments, and by an inert system.

[0004] The camera's calibration is done by the observation of exterior reflective marks. We will quote M.A Abidi, T Chandra's documents: "Pose Estimation for Camera Calibration and Landmark Tracking" Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, US, Los Alamitos, 13 May 1990, pages 420-426 and R.Horaud and Assoc, "An Analytic Solution for the Perspective 4-point Problem", Computer Vision Graphics and Image Processing, vol. 47 n. 1, 1 July 1989, pages 33-44 to indicate the procedures of camera calibration by exterior marks. The opposite problem of searching for points in space by their placement on the camera is resolved in document; D. Oberkampf, D.F. DeMenthon, L.S. Davis, "Iterative Pose Estimation using Coplanar Feature Points" Computer Vision and Image Understanding, vol. 63, n. 3, 1 May 1996, pages 495-511 among others.

[0005] We have proposed two other ways of the camera's position on the mobile support to control the uncertainties: assemble the camera to the support with a mechanism that allows a greater precision, or equip the camera's box with reference marks, fix it to the support with mechanism that allows adjusting the position and perform a position adjustment between the reference marks to align the camera's sight with a predetermined direction on the support. The first possibility of these alternatives will require expensive mechanical means that does not allow position adjustment on the support or to proceed with any type of adjustment. Replacement of the camera becomes difficult or impossible since the mechanical system is adapted for each camera unit. The second possibility involves the calibration of the camera in a laboratory so that the reference marks may be indicated properly based on the sight. Subsequently prohibit changes in the adjustment of the camera's position under penalty of having to recalibrate to obtain new reference marks.

[0006] Previously a single camera was generally used and on occasion several cameras fixed on a common support although the later not being adaptable enough to recognize certain objects comfortably. The invention, defined in claim 1, allows proceeding with the partial images taken by mutually mobile cameras.

[0007] The invention will now be described in detail with the following figures:

- Figure 1 is a diagram of general elements that interact in the locating of the camera and its initial position with the help of a sight.

- Figure 2 illustrates the techniques in searching traces of the sight marks on the image taken by the cameras
- Figures 3 and 4 illustrate a modeling of a trace mark and the image.
- Figure 5 is a geometric representation of the procedure of positioning and orientation of the camera
- Figure 6 illustrates a method to make use of this invention.

**[0008]** First, let's remember that the aspect of the image of an object aimed by the camera depends on eleven parameters: the six intrinsic parameters of the camera, are the orientation and position coordinates in relation to the object. Five intrinsic parameters, two coordinates that define the position of the optical center of the camera, two values that take into account the focal distance of the object and at least one radial distortion factor. These intrinsic parameters may be determined by known calibration that is executed as soon as the camera is assembled; they are therefore invariable. The camera's position is in reality related to the determination of its extrinsic parameters. It must be done when the camera is mounted on its support, each time it is dismounted and remounted or when its position is adjusted on the support and on occasion. For this, a fixed aim is used. An explanation of the extrinsic parameters calculation method follows.

**[0009]** The monocular position used to obtain the extrinsic parameters of a camera for this process relies on the exploitation of an aim of known dimensions and of a unique image taken by the camera representing this aim. Certain known resolution methods are analytical and impose a nonlinear equation to determine the position of the reference marks or the marks of the sight from its image. They are fast but sensitive to interference and require a greater number of identification marks.

**[0010]** Another category is made up by the iterative resolutions, in which the position of the marks are estimated and then corrected to minimize an error criteria between the images recorded by the camera and the images obtained by the images of the position of the marks estimated. The resolutions are precise, hardly sensitive to interference and allows the exploitation of a variable number of reference marks, but they present the inconvenience that the conversion may be slow and that the first estimation must be close to the solution or else the conversion is no longer sure.

**[0011]** An inverted device of an object, containing reference marks, localization is described in the article "Model-based object pose in 25 lines of code" by DeMenthon and Davis, published in International Journal of Computer vision, vol. 15, p. 123-141, 1995. and consist of obtaining a first analytical estimation of the position of the reference marks by an approximate algorithm but simple to use. Then to correct this initial estimation by an iterative process for which the estimation of position of the reference marks are projected on the image taken by the camera before applying the approximated algorithm to its projections to produce new and more precise estimated positions of the reference marks.

**[0012]** Here, we propose a process of positioning that belongs to the family of monocular optical methods and understands an iterative resolution process by using a first algorithm estimation of position very near to this article; this process distinguishes itself from the previous, particularly by a better final algorithm estimation. Less sensitive to interference by a particular improved step of determining the position of the reference marks on the image, as well as by the nature of the reference marks that satisfies the precise requirements in the determination of the final positioning of the image.

[0013] The final, three-dimensional, algorithm estimation is created by the help of less straightforward nonlinear calculations with injection of the quality factors issued from the bi-dimensional improvement step of the image's reference marks. This calculation could be favorably replaced by a Kalman filter for which the digital stability is assured with the simple precision of floating decimal operations (32 bits). The calculation of lesser nonlinear equations imposes operations at double precision (64 bits) that will not be available on all computerized material, particularly DSP (Processor of digital signal treatment) loaded systems.

[0014] We will note that the French patent request 97 02426, not yet published, describes an analog process to this one that determine the position and orientation of mobile objects, holders of reference marks, in a fixed camera field of vision and a known position.

[0015] Figure 1 represents target 1 that has marks 3 on two planes that form a dihedral and turned towards a camera 4; the marks 3 consist of small surface patterns such as colored points or that reflects the surrounding light. It is favorable to have a greater number of these patterns than 3 and non-coplanar. But an additional step of initialization of the three-dimensional positioning by initial values for the use of 3 reference marks by elevating the ambiguity that may appear. In fact, in the application of three-dimensional positioning with great precision, we often know good values that approximate to the final results that allow the initialization of the process. The patterns are also favorable in greater numbers if we want to obtain a better precision still. It is not essential that the marks 3 have a definite orientation and immovable in relation to camera 4. But they can be presented diagonally to the camera without compromising the precision of detection. This prevents having to place camera 4 with too many constraints.

[0016] These passive marks may be preferred to luminous marks, generally used in this technique and are more easily visible but for which the outlines are less defined. This prohibits profiting from the improvements of the algorithm estimation of position described further.

[0017] The first step in the process of positioning consist of searching the traces of marks 3 on the image taken by the camera 4. This is a step of identification of images or partial images each containing a trace of marks 3. Figure 2 shows that we proceed with a correlation of the image 10 of camera 4 with image 9 of calibration taken previously. If we notice a trace of one of the marks 3 was included in the perimeter of a portion of a reference image 11 of the calibration image 9, the positioning program creates successively images 12 with the same perimeters of the x and y coordinates of image 10 and calculates the correlation C of the luminous intensity of the images 11 and 12 according to the following formula:

#### **Formula 1**

When Cov is the covariance, E is the mathematical expectation and s the typical gap of the luminous intensity. Mo and Mk represent the luminous contents or patterns of the images 11 and 12. This calculation is reused for all the positions of image 12 by varying x and y. A correlation table of image 10 is therefore obtained, of which the points are affected by a number included between -1 and +1, where -1 represents an anti-correlation between the Mo and Mk patterns for the considered values of x and y, 0 an absence of correlation, and +1 a perfect correlation. This last situation appears when image 12 is

identical to the reference image 11: the correlation serves to precisely identify the best place of correlation with image 11 and image 10 by the means of reading the correlation table; it is possible to isolate certain amounts of images 12 on image 10 that contains each trace 13 of one of the marks 3 of the aimed object. The reference image 11 may be unique for numerous images 12 if marks 3 are identical; if not; one image 12 is associated to one respective reference image 11.

[0018] This process presents the great advantage of allowing the finding of traces of marks 3 even when variation of luminosity exist between marks 3 and image 10 and the calibration of images 9.

[0019] Certain precautions must however be taken to make the process more interesting and more reliable. In fact, it must be admitted that these correlation calculations are long and expensive. This is why they are actually taken on smaller reduced images, simply presenting a selection of the points (pixels) of the original image. From the reduced correlation table thus obtained we select the points corresponding to the chosen images in greater numbers than the images 12 researched. The chosen images are the object of a second selection by making correlation verification on the complete chosen images, that in which we have reintegrated all the remote points by constructing the reduced image. The images 12 that are finally kept are those that contain the best verification correlation with the reference image 11. These precautions prevents the risk of errors that are attached to the concrete conditions of exploitation, where interfering lights or other factors can mislead the system in error and push it to identify traces 13 at these locations instead of the real locations. In addition, the verification correlations can be calculated numerous times for each of the images 12, by moving them each time in the perimeters of a window 14 of dimensions pre-determined constructed around each chosen images. Of course the best correlation position in window 14 is kept to define image 12. The risk of truncating the trace 13 by mis-framing it in the image 12 is therefore greatly reduced.

[0020] An import element, although optional, consist of estimating with great precision the position of the traces 13 of the marks 3 on the images 12: the proposed process allows an under-pixellic localization of this position, which is with a better precision than the width of a point of the image. It is then possible to obtain satisfying localization results, even with a camera 4 of weak resolution, less expensive and for which the image exploitation is faster. It would be possible to base ourselves on the correlation calculations between the images 12 of the trace 13 and a primitive image such as the image 11 to, for example, calculate the center of the trace 13 on the image 12. But this kind of method becomes ineffective when the target 1 is seen under a different incidence then that of the capturing of the calibration image, which distorts them on the images 12. This is why it is proposed to model the traces 13 on the images 12 by a formula like the following:

#### **Formula - 2**

Where  $I$  is the luminous intensity on image 12  $m$   $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  are constants of which the first three are used to estimate the background luminous intensity of the image 12, the last one being the global luminous intensity of trace 13;  $M_x$ ,  $M_y$  express the coordinates of the center of trace 13,  $s_x$  and  $s_y$  it's width in the principal axes that can be diagonally (?)

angle) in relation to the principal axes of images 12, and  $r_{xy}$  expresses the spreading of the trace.

[0021] From a mathematical point of view,  $a$ ,  $b$  and  $c$  are coefficients of a plane and  $d$  the height of a derided function of elliptical bi-dimensional section for which  $M_x$  and  $M_y$  are the averages,  $s_x$  and  $s_y$  the typical gap and  $r_{xy}$  the correlation. Figures 3 and 4 give a graphic representation.

[0022] We see that this model takes into account the narrowing of the trace 13 on the image 12 consecutive to the distancing of the mark 3 and its consecutive deformation of the diagonally of target 1. If we call  $\hat{I}(xy)$  the measured luminous intensity on the points of image 12, the work consist of minimizing the  $C_{min}$  function of the formula :

### Formula - 3

By changing the variables of this function, that is the parameters of modelisation, so that the luminous intensity given by it coincides with the values measured. A precise modelisation of trace 13 is then obtained: we can deduct the center by the values of  $M_x$  and  $M_y$  and consequently, with a preliminary known calibration of camera 4, the direction of the mark 3 associated to the image 12 considered in relation to the camera 4.

[0023] The previous model given is suitable for circular marks 3, but it can be easily transpose to different marks of a simple form.

[0024] All that is left now is to determine the position of camera 4 in regards to the marks. Figure 5 will allow an understanding of the following explanations.

[0025] By supposing that the geometrical distortions caused by the camera 4 lens was corrected by the factor of radial distortion of the introsequent parameters of the camera, which can also be done by a preliminary calibration of camera 4 by photogrammetry, the point  $P$  at the center of a mark 3 is found on a line of projection  $L$  that passes by the center  $P_p$  of the corresponding trace 13 on the image 10 and by a focus  $F$ . We call  $i$ ,  $j$  and  $k$  axes of reference of a camera for which the focus  $F$  is its beginning, axe  $k$  is perpendicular to image 10. All the points of the space perceived by camera 4 are projected on image 10 by a line passing by focus  $F$ : this converging projection is called "perspective". The position of points  $P_p$ , center of traces 13, is therefore foreseeable when target 1 is given a position in camera 4 field; the problem consist of finding the relations of retro-projection that are passed by points  $P_p$  to points  $P$ . But we find that the rigorous relation of retro-projection, obtained by inverting the projected relations allowing the calculation of the coordinates of points  $P_p$  from the coordinates of points  $P$ , may not be exploited easily due to the fact that it is not a linear equation system.

[0026] That is why we recommend to resort to an initial evaluation of the position of points  $P$ ; this initial evaluation is approximate but can easily be obtained and then allows the application of a convergence towards a real solution. The retained principal consist of assuming that points  $P$  project themselves on image 10 in two steps, First by an orthogonal projection on an intermediate plane  $II$  parallel to image 10, in a point  $P'$ , then by a perspective projection of point  $P'$  towards focus  $F$ , giving a point  $P_p'$  on image 10. This fictitious point of projection is beside the real projection point  $P_p$ . The initial evaluation of the position of points  $P$  consist of applying a retro projection, inverted of fictitious projection that we have just described, to points  $P_p$  of image 10: the points obtained this way are noted as  $^oP$ .

[0027] This principle exposed, we must give more precise details of the calculations taken.

[0028] The situation of target 1 can be represented by a rotation  $R$  and transferring  $t$  conforming to the following matrix (4), that passes from reference of video-camera 4, defined above, to a fix reference, linked to target 1.

#### Formula - 4

Where  $t_x$ ,  $t_y$  and  $t_z$  are coordinates of transfers revealed in axes  $i$ ,  $j$  and  $k$  of reference camera 4 and  $i$ ,  $j$  and  $k$  are directing vectors of the reference of camera 4 revealed in target 1.

[0029] Plane II is chosen such as "zero point"  $O$  that belongs to the reference of target 1, which implies that the focus  $F$  is distant to plane  $\pi$  of height  $t_z$ .

[0030] If we call  $^ox$ ,  $^oy$  and  $^oz$  the coordinates of points  $P$  in reference target 1 and  $u$  and  $v$  the coordinates of point  $P'$  on the image 10, we can obtain the following relations:

#### Formula - 5

[0031] These equations can be generalized to a number  $n$  of points  $P$  of target 1 in the following manner:

#### Formula - 6

Where the notations  $I$ ,  $J$ ,  $A$ ,  $u$ ,  $v$  are given by the following equations:

#### Formula - 7

[0032] The quantities of  $I_n$  and  $J_n$  must then be calculated with the following formulas:

#### Formula - 8

Where matrix  $B$  is the pseudo-opposite of  $A$ , that is that (equation)

[0033] The calculation of the parameters  $i$ ,  $j$ ,  $k$  and  $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$  of matrix  $R$  and is executed simply by the succession of the following steps:

- calculation of standards
- calculation of average standards
- calculation of  $i$
- calculation of  $k$  by the vectorial product of the vectors  $i$  and  $j$
- calculation of the component
- calculation of

[0034] When the position of points  $^oP$  of estimation of the position of points  $P$  has been obtained by these calculations, it is fitting to correct it because of the error of principle explained in the commentary of figure 5. Points  $^oP$  are projected on the plane of image 10 along the line directed towards focus  $F$ . The coordinates  $u$  and  $v$  of the point of projection  $^oP$  are given by the formula (9):

#### Formula – 9

to compare to formula (5), near but more simple.

[0035] The final estimation of localization of target 1, that is the values of coefficient of matrix  $R$  and  $t$  that give the position and orientation of the reference of target 1, is obtained by minimizing the quadratic error between the coordinates  $u$  and  $v$  measured on the points  $P_p$  of the image 10, and the coordinates  $u$  and  $v$  of projections  $^oP_p$ , calculated by the previous formulas (9), of points  $^oP$ . We take into account uncertainties on the coordinates of points  $P_p$  estimated by modelisation of the trace 13 (these uncertainties are represented by matrix  $\sigma$  of coefficients that can be estimated in advance). In other words, we are searching to minimize the quantity  $C_{min}$  given by the following formula:

#### Formula – 10

[0036] We act by iterative, by moving points  $^oP$  each time in accordance with their projections  $^oP_p$  on the image 10, until the projections are sufficiently converged towards the centers  $P_p$  of traces 13. The localization of target 1 being known in a fix reference, it is therefore possible to know the localization of the video-camera 4 in this same reference by calculating the reverse transformation.

[0037] The application of the principle of localization of the position of a camera used in this invention exploits the possibility of calibrating the respective position of several cameras mounted on a mobile support. It's a question of controlling the alignment of vehicles (wheel alignment) in a center for vehicle control (cf. Fig 6). The device consist of equipping the wheels 56 of the vehicle to be aligned 55 with plates 54, having reflective marks 57, two cameras 51 and 52 being placed here and there and in front of the vehicle. A known technique if three-dimensional localization of plates appearing in the field of each camera allows the determination, with precision, of the angular position of each wheel 56 in relation to camera 51 or 52. It is possible to determine if the two wheels 56 from the same side of the vehicle are parallel because the control plates are then in the same field of camera 51 or 52 that supply the reference.

[0038] In order to control the alignment of the opposite wheel on the same axle, it is necessary to know the transformation of the reference between two cameras. An initial device would consist of fixing, rigidly, the two cameras 51 and 52 to a transversal support and to calibrate the position of the cameras 51 and 52 by putting into operation the technique of this patent. It would be necessary to provide a target with the marks in the field of the two cameras in order to know the position of each camera in the reference of that target, and by difference, the transformation of the position between the two cameras 51 and 52.

[0039] This vehicle alignment device (system) will imply a rigid and stable mechanical realization, which will be heavy and cumbersome to install.

[0040] We can advantageously, according to the device in figure 6, install two cameras 51 and 52 of the vehicle on the supports 60, light and independent (tripods). The camera 52 is equipped with a plate 59 containing marks 58 oriented towards the camera 51, and a third camera 53 is solitary from the support of camera 51 and oriented towards camera 52.

[0041] The implementation of the technique of this patent analyzing the images of the plate 59 obtained by camera 53 allows the permanent knowledge (for each alignment



measurement) the accurate position of camera 53 in relation to plate 59. The two equipments: camera 51 associated to camera 53 for one, and camera 52 and its plate 59 containing marks 58, are previously calibrated in factory with the help of a measurement bench (table) equipped with another camera and an associated target to know with precision their fix geometrical parameters.

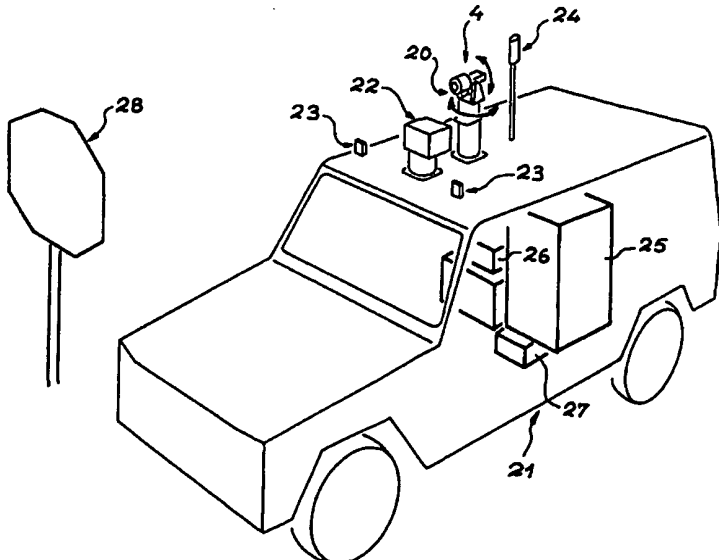
**[0042]** And so with the light device, it would be possible to provide the transformation of reference between camera 51 and camera 52 necessary to the four wheel alignment of the vehicle in the "real" (live) time on the control site whatever the approximate position with which the operator would place the tripod.

**[0043]** The exploitation of the images taken by the calibration camera 53 is made in the same manner, as previously, and allows the deduction of the position and orientation relative to cameras 51 and 52.

**[0044]** Such procedure could be generalized for all systems containing several observational cameras on a same object, or of related portions of an object or of a same space, and for which the views must be correlated between them to juxtapose and reconstruct the object or deduct the characteristics of the space observed.



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>G05D 1/03</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 99/22281</b> (43) Date de publication internationale: 6 mai 1999 (06.05.99)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02270</p> <p>(22) Date de dépôt international: 23 octobre 1998 (23.10.98)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 97/13375 24 octobre 1997 (24.10.97) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): ARNOUL, Patrick [FR/FR]; 26, rue du Champrier des Fourneaux, F-78720 Dampierre en Yvelines (FR). GUERIN, Jean-Pierre [FR/FR]; 10, allée du Bois de la Cyprenne, F-91400 Orsay (FR). LETELLIER, Laurent [FR/FR]; 7, rue Auguste Ernoul, F-92260 Fontenay aux Roses (FR). VIALA, Marc [FR/FR]; 6, clos Alphonse Daudet, F-78280 Guyancourt (FR).</p> <p>(74) Mandataire: BREVATOME; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>
<p>(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING THE INITIAL POSITION AND THE ORIENTATION OF ONE OR SEVERAL MOBILE CAMERAS</p>		
<p>(54) Titre: PROCEDE D'ETALONNAGE DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION D'ORIGINE D'UNE OU PLUSIEURS CAMERAS MOBILES</p>		
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention concerns a method for calibrating a camera (4, 22) arranged on a mobile support (21), wherein the camera takes a test object image formed of at least three marks appearing in the camera field, and the analysis of said image gives the initial position and orientation of the camera relative to that of the test object image, known in an application. The support (21) can then be displaced towards an object (28) whereof the camera takes images. Since the support displacements are accurately measured, the analysis of the object images gives the accurate position and orientation of the object relative to the camera and relative to the test object. One application consists in the survey of road signs (28) for constituting databases for managing a network or for an on-board navigation system.</p> 		

(57) Abrégé

Procédé d'étalonnage d'une caméra (4, 22) disposée sur un support mobile (21). La caméra prend une image d'une mire formée d'au moins trois marques apparaissant dans le champ de la caméra, et l'analyse de l'image donne la position et l'orientation initiales de la caméra par rapport à celle de la mire, qui sont connues dans une application. Le support (21) peut alors être déplacé vers un objet (28) dont la caméra prend des images. Comme les déplacements du support sont mesurés avec précision, l'analyse des images de l'objet donne la position et l'orientation précises de l'objet par rapport à la caméra et par rapport à la mire. Une application est le recensement de panneaux routiers (28) pour constituer des bases de données de gestion du réseau ou pour système de navigation embarqué.

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE D'ETALONNAGE DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION  
D'ORIGINE D'UNE OU PLUSIEURS CAMERAS MOBILES

5

## DESCRIPTION

L'invention a trait à un procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une ou plusieurs caméras mobiles et à son application à la mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes.

Elle peut trouver diverses applications de calcul automatique de position d'objets en prenant au moins une image de ces objets par la caméra et en calculant leur position d'après leur trace sur les images prises et la position de la caméra.

Le brevet français 96 06749 non encore publié décrit une telle application, et le système matériel correspondant, pour laquelle l'invention serait utile : il s'agit du recensement automatique de panneaux de signalisation le long d'une route : une ou plusieurs caméras sont fixées sur le toit du véhicule, qui peut encore être muni d'une centrale de navigation inertielle et d'un appareil à antenne de localisation par rapport à une constellation de satellites en orbite (par exemple système GPS) ; le second de ces deux instruments donne périodiquement (quelques secondes) la position du véhicule à la surface de la Terre et son cap avec une très grande précision, et le premier est utilisé pour mettre à jour les informations de position et d'orientation entre les instants de localisation. La caméra prend une série d'images de chaque panneau que croise le véhicule, et un système de traitement

d'images adjoint à la caméra, qui comprend des moyens de poursuite à filtrage de Kalman d'un point caractéristique de chaque objet sur chacune des images, fournit des coordonnées représentatives de la direction et de l'éloignement de l'objet par rapport à la caméra à chacune des images par un algorithme de prédiction, de vérification et d'estimation de la trace du point caractéristique de l'objet sur chacune des images. Il existe aussi des algorithmes plus simples, fondés sur une triangulation à partir des positions de points caractéristiques de l'objet sur deux images ou plus. La position de l'objet peut donc être déterminée en utilisant ces renseignements et la connaissance qu'on a de la position et de l'orientation de la caméra et du véhicule. La position et l'orientation du véhicule sont connues à tout instant dans un repère fixe (lié à la Terre) grâce au système de localisation par satellites et à la centrale inertielle, mais il reste à étalonner la position et surtout l'orientation de la caméra par rapport au véhicule.

On a proposé deux moyens de maîtriser les incertitudes de positionnement de la caméra sur le support mobile qui la transporte : assembler la caméra au support par un dispositif mécanique qui offre une grande précision, ou munir le boîtier de la caméra de repères, le fixer au support par un mécanisme permettant d'ajuster sa position, et effectuer un ajustement de position entre les repères de la caméra et des repères fixes pour aligner le viseur de la caméra avec une direction déterminée sur le support. La première des possibilités de cette alternative nécessite des moyens mécaniques coûteux qui ne permettent pas de régler la position de la caméra sur

le support ni de procéder à aucun réglage de position de quelque nature qu'il soit, et le remplacement de la caméra devient difficile ou impossible puisque le système mécanique est adapté à chaque modèle de caméra.

- 5 L'autre possibilité de l'alternative implique que la caméra est étalonnée en laboratoire pour que ses repères soient tracés correctement d'après la direction du viseur, et interdit de changer les réglages de position de la caméra ultérieurement sous peine de  
10 devoir recommencer la procédure d'étalonnage pour obtenir de nouveaux repères.

L'intérêt de l'invention est essentiellement d'éviter ce besoin de placer la caméra sur le support mobile avec une grande précision pour mesurer  
15 convenablement la position et surtout l'orientation de l'objet visé. Elle permet aussi d'utiliser aisément plusieurs caméras sur le même support mobile.

Plusieurs avantages découlent de cette caractéristique. Il est tout d'abord inutile de régler  
20 finement la position à laquelle la caméra est fixée au support, et il est permis de réorienter sans difficulté la caméra pour une nouvelle application du procédé si on le souhaite. Il est aussi possible de monter sans inconvénient la caméra sur une tourelle mobile,  
25 notamment tournante, montée sur le support, malgré l'incertitude supplémentaire de position et d'orientation qui est alors introduite ; il faudra simplement mesurer avec précision les déplacements de la tourelle, sans devoir connaître avec précision sa  
30 position et son orientation d'origine ; celles-ci seront déterminées implicitement par le procédé de l'invention. Une telle tourelle pourrait par exemple être employée dans l'application de recensement de

panneaux pour faciliter la prise d'images successives dans des lieux tels que des ronds-points à sens giratoire où la direction du véhicule et le champ de visée de la caméra se déplacent très vite.

5        La mesure caractéristique de l'invention consiste à prendre, pour chaque caméra, une image préliminaire d'une mire dont la position est connue dans l'environnement ; on déplacera le véhicule à cet effet pour chaque caméra : l'analyse de l'image de la mire  
10        fournit la position et l'orientation de la caméra et de son support par rapport à la mire et donc dans un repère fixe. Il suffit ensuite d'aller prendre des images successives de l'objet qui sont analysées à leur tour par un des procédés connus pour connaître la  
15        position de l'objet dans le repère fixe, en mesurant les déplacements du support jusqu'à chacun des lieux de prise d'image et en déduisant la position de l'objet à l'aide de sa trace sur chacune des images.

      Rappelons que la position et l'orientation du  
20        support mobile sont connues à chaque instant y compris lors des prises d'image de la mire.

      Dans le cas où l'objet à localiser est porteur de plusieurs marques de repérage de positions relatives bien identifiées, on pourra mettre en oeuvre un procédé  
25        de localisation à partir d'une seule image de l'objet.

      Pour résumer, l'invention est relative sous sa forme la plus générale à un procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une ou plusieurs caméras, disposées sur un support mobile dans  
30        un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir l'environnement d'une mire à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par chaque caméra et à analyser l'image de la mire par

un système de traitement en relevant des positions de traces de points caractéristiques de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les points caractéristiques et la caméra, puis une position et une orientation de la caméra par rapport à la mire ; ou encore, dans une conception à peine différente, elle concerne un procédé d'étalonnage, par rapport à une seconde caméra de la position et de l'orientation d'origine d'une première caméra disposée sur un support mobile dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir la première caméra d'une caméra d'étalonnage et la seconde caméra d'une mire à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par la caméra d'étalonnage ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces de marques caractéristiques de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra d'étalonnage, puis une position et une orientation de la caméra d'étalonnage par rapport à la mire, puis de la première caméra par rapport à la seconde caméra.

Avantageusement, la mire comprend au moins trois marques apparaissant dans le champ de la caméra, elle présente avantageusement un plus grand nombre de marques non coplanaires.

L'invention est encore relative à un procédé de mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes au moyen d'une ou plusieurs caméras montées sur un support mobile, caractérisé en ce qu'il consiste, après avoir appliqué le procédé d'étalonnage, à faire subir un



déplacement au support jusqu'à l'objet tout en mesurant ce déplacement ; à prendre des images de l'objet par la ou les caméras, entre chacune desquelles le support est de nouveau déplacé ; à analyser les images de l'objet  
5 par le système de traitement pour en déduire une direction et un éloignement entre l'objet et la ou les caméras ; à enfin calculer la position de l'objet en utilisant ladite direction et ledit éloignement entre l'objet et la caméra et les déplacements du support.

10 L'invention sera maintenant décrite en détail à l'aide des figures suivantes :

- la figure 1 est une vue schématique et générale des éléments qui interviennent dans la localisation de la position et de l'orientation initiales de la caméra à l'aide d'une mire ;  
15
- la figure 2 illustre la technique de recherche des traces des marques de la mire sur l'image prise par la caméra ;
- les figures 3 et 4 illustrent une modélisation d'une trace de marque sur l'image ;  
20
- la figure 5 est une représentation géométrique d'explication du procédé de localisation et d'orientation de la caméra ;
- la figure 6 illustre un véhicule sur lequel une caméra de localisation 22 ou 4 est implantée ;  
25
- la figure 7 illustre le procédé de localisation de la caméra ou des caméras par la mire dans cette application ;
- la figure 8 illustre une autre application de l'invention ;  
30
- et la figure 9 illustre une autre façon de mettre en oeuvre le procédé.

Rappelons tout d'abord que l'allure d'une image d'un objet visé par la caméra dépend de onze paramètres : les six paramètres extrinsèques de la caméra, c'est-à-dire ses coordonnées d'orientation et de position par rapport à l'objet et au moins cinq paramètres intrinsèques, à savoir deux coordonnées qui définissent la position du centre optique sur le capteur de la caméra, deux valeurs qui tiennent compte de la distance focale de l'objectif et au moins un facteur de distorsion radiale. Ces paramètres intrinsèques peuvent être déterminés par des étalonnages connus qui sont effectués dès que les éléments de la caméra ont été assemblés ; ils restent alors invariables. La localisation de la caméra, objet de l'invention, est en réalité liée à la détermination de ses paramètres extrinsèques. Elle doit être faite quand la caméra est montée sur son support, à chaque fois qu'elle est démontée et remontée ou que sa position est ajustée sur le support, et en pratique de temps à autre. Une mire fixe est employée pour cela. On détaille ci-après la méthode de calcul des paramètres extrinsèques.

La localisation monoculaire mise en oeuvre pour obtenir les paramètres extrinsèques d'une caméra dans ce procédé repose sur l'exploitation d'une mire de dimensions connues et d'une unique image prise par la caméra représentant cette mire. Certaines méthodes de résolution connues sont analytiques et imposent de résoudre un système d'équations non linéaires pour déterminer les positions des repères ou des marques de la mire à partir de leur image. Elles sont rapides mais sensibles aux bruits de mesure et exigent un plus grand nombre de marques d'identification.

Une autre catégorie est constituée par les résolutions itératives, dans lesquelles la position des repères est estimée puis corrigée pour minimiser un critère d'erreur entre les images enregistrées par la caméra et les images qui seraient obtenues avec la position estimée des repères. Ces résolutions sont précises, peu sensibles aux bruits de mesure et permettent d'exploiter un nombre variable de repères, mais elles présentent l'inconvénient que la convergence peut être assez lente et que la première estimation doit être proche de la solution, faute de quoi la convergence n'est plus assurée.

Un dispositif inverse de localisation d'un objet porteur de marques de repérage est décrit dans l'article « Model-based object pose in 25 lines of code » par DeMenthon et Davis, paru dans International Journal of Computer Vision, vol.15, p.123-141, 1995, et consiste à obtenir une première estimation analytique de la position des repères par un algorithme approximatif mais simple à utiliser, puis à corriger cette estimation initiale de position par un processus itératif dans lequel les estimations de position des repères sont projetées sur l'image prise par la caméra avant d'appliquer l'algorithme approximatif à ces projections pour donner de nouvelles estimations de position des repères plus précises que les précédentes.

On propose ici un procédé de localisation qui appartient à la famille des méthodes optiques monoculaires et comprend l'utilisation d'un procédé de résolution itératif en utilisant un premier algorithme estimateur de position très proche de cet article ; ce procédé se distingue du précédent en particulier par un meilleur algorithme d'estimation finale, moins sensible

aux bruits de mesure, par une étape particulière d'amélioration de la détermination de la position des repères sur l'image, ainsi que par une nature des repères qui permet de satisfaire à l'exigence de  
5 précision dans la détermination finale de la position de l'image.

L'algorithme final d'estimation tridimensionnelle est réalisé à l'aide d'un calcul de moindres carrés non linéaires avec injection des facteurs de qualité issus  
10 de l'étape d'amélioration de la position bidimensionnelle des traces des marques dans l'image. Ce calcul pourrait être avantageusement remplacé par un filtre de Kalman dont la stabilité numérique est assurée avec des opérations en virgule flottante à  
15 simple précision (32 bits). Le calcul des moindres carrés non linéaires impose des opérations à double précision (64 bits) qui ne sont pas disponible sur tous les matériels informatiques, notamment les systèmes embarqués à DSP (Processeur de traitement de signal  
20 numérique).

On notera que la demande de brevet français 97 02426 non encore publiée décrit un procédé analogue à celui-ci pour déterminer la position et l'orientation d'objets mobiles, porteurs de marques de repérage, dans  
25 le champ de vision d'une caméra fixe et de position connue.

La figure 1 représente une mire 1 qui porte des marques 3 sur deux faces planes formant un dièdre et tournées vers une caméra 4 ; les marques 3 peuvent  
30 consister en des motifs de petite surface tels que des points de couleur ou qui réfléchissent la lumière environnante. Ces motifs sont avantageusement d'un nombre supérieur à trois et non coplanaires, mais une

étape supplémentaire d'initialisation de la localisation tridimensionnelle par des valeurs a priori permet de n'avoir recours qu'à trois marques de repérage en levant les ambiguïtés pouvant apparaître.

5 En effet, dans les applications de localisation tridimensionnelle de grande précision pouvant être abordée dans le cadre de ce brevet, on connaît bien souvent de bonnes valeurs approchées du résultat final qui permettent l'initialisation du processus. Les

10 motifs sont d'ailleurs avantageusement plus nombreux encore si on veut obtenir une meilleure précision. Il n'est pas indispensable que les marques 3 soient à une orientation définie et immuable par rapport à la caméra 4, mais elles peuvent au contraire être présentées

15 obliquement à elle sans que la précision de détection soit compromise, ce qui n'impose pas de placer la caméra 4 avec trop de contraintes.

Ces marques passives peuvent être préférées aux marques lumineuses, généralement employées dans la

20 technique et qui sont plus facilement visibles mais dont les contours sont moins nets, ce qui interdit de bien profiter de l'algorithme d'amélioration d'estimation de position décrit plus loin.

La première étape du procédé de localisation

25 consiste à chercher la trace des marques 3 sur l'image prise par la caméra 4. Il s'agit d'une étape d'identification d'images ou portions d'image contenant chacune la trace d'une des marques 3. La figure 2 montre qu'on procède par une corrélation de

30 l'image 10 de la caméra 4 avec une image 9 d'étalonnage prise précédemment. Si on a constaté que la trace d'une des marques 3 était incluse dans le périmètre d'une portion ou image de référence 11 de l'image

d'étalonnage 9, le programme de localisation crée successivement des imagerie 12 de même périmètre à des coordonnées x et y sur l'image 10 et calcule la corrélation C de l'intensité lumineuse des points des  
5 imagerie 11 et 12 selon la formule suivante (1) :

$$C(x, y) = \frac{\text{Cov}(M_o, M_k)}{\sigma(M_o)\sigma(M_k)} = \frac{E(M_o M_k) - E(M_o)E(M_k)}{\sqrt{E(M_o^2) - E(M_o)^2} \sqrt{E(M_k^2) - E(M_k)^2}} \quad (1)$$

où cov est la covariance, E est l'espérance  
10 mathématique et  $\sigma$  l'écart-type de l'intensité lumineuse.  $M_o$  et  $M_k$  représentant les contenus ou motifs lumineux des imagerie 11 et 12. Ce calcul est repris pour toutes les positions de l'imagerie 12 en faisant varier x et y. Une table de corrélation de l'image 10  
15 est alors obtenue, dont les points sont affectés d'un nombre compris entre -1 et +1, où -1 représente une anti-corrélation entre les motifs  $M_o$  et  $M_k$  pour les coordonnées x et y considérées, 0 une absence de corrélation et +1 une corrélation parfaite. Cette  
20 dernière situation apparaît quand l'imagerie 12 est identique à l'imagerie 11 de référence : la corrélation sert précisément à repérer les endroits de meilleure corrélation avec l'imagerie 11 sur l'image 10 au moyen d'une lecture de la table de corrélation ; il est alors  
25 possible d'isoler un certain nombre d'imagerie 12 sur l'image 10, qui contiennent chacune la trace 13 d'une des marques 3 de l'objet visé. L'imagerie 11 de référence peut être unique pour plusieurs imagerie 12 si les marques 3 sont identiques ; sinon, une imagerie  
30 12 est associée à une imagerie 11 de référence respective.

Ce procédé présente le grand avantage de permettre de retrouver les traces des marques 3 même quand des variations de luminosité existent entre les marques 3 ou entre l'image 10 et l'image d'étalonnage 9.

5 Certaines précautions doivent cependant être prises pour rendre le procédé plus intéressant et plus sûr. Il faut en effet admettre que ces calculs de corrélation sont longs et coûteux. C'est pourquoi ils sont entrepris en réalité sur des images réduites,  
10 présentant simplement une sélection des points (pixels) de l'image originale. Du tableau de corrélation réduit ainsi obtenu on sélectionne les points correspondant à des imagerie candidates en plus grand nombre que les imagerie 12 recherchées. Les imagerie candidates sont  
15 l'objet d'une seconde sélection en réalisant une corrélation de vérification sur des imagerie candidates complètes, c'est-à-dire dans lesquelles on a réintégré tous les points écartés en construisant l'image réduite. Les imagerie 12 finalement retenues  
20 sont celles qui possèdent la meilleure corrélation de vérification avec l'imagerie 11 de référence. Ces précautions permettent de se prémunir contre les risques d'erreur attachés aux conditions concrètes d'exploitation, où des lumières parasites ou d'autres  
25 artefacts peuvent induire le système en erreur et le pousser à identifier des traces 13 à ces endroits plutôt qu'aux véritables. De plus, les corrélations de vérification peuvent être calculées plusieurs fois pour chacune des imagerie 12, en les déplaçant à chaque  
30 fois dans le périmètre d'une fenêtre 14 de dimensions prédéterminées construite autour de chacune des imagerie candidates. C'est bien sûr la position de meilleure corrélation dans la fenêtre 14 qu'on retient

pour définir l'imagette 12. Le risque de tronquer la trace 13 en la cadrant mal dans l'imagette 12 est alors très réduit.

Un élément important, bien que facultatif, de l'invention consiste à estimer avec une grande précision la position des traces 13 des marques 3 sur les imagettes 12 : le procédé qui est proposé permet de faire une localisation sous-pixelique de cette position, c'est-à-dire avec une précision meilleure que la largeur d'un point de l'image. Il est alors possible d'obtenir des résultats de localisation satisfaisants, même avec une caméra 4 à faible résolution, moins coûteuse et dont l'exploitation des images est plus rapide. Il serait possible de se fonder sur le calcul de corrélation entre l'imagette 12 de la trace 13 et une image primitive telle que l'imagette 11 pour, par exemple, calculer la position du centre de la trace 13 sur l'imagette 12. Mais ce genre de méthode devient inopérant quand la mire 1 est vue sous une autre incidence que pendant la prise d'image d'étalonnage, qui les déforme sur l'imagette 12. C'est pourquoi il est proposé de modéliser les traces 13 sur l'imagette 12 par une formule telle que la suivante (2):

$$I(x, y) = a + bx + cy + d \exp \left( \frac{1}{2(1 - r_{xy}^2)} \left( \frac{(x - m_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - m_y)^2}{\sigma_y^2} - \frac{(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} \right) \right) \quad (2)$$

où I est l'intensité lumineuse sur l'imagette 12, a, b, c et d sont des constantes dont les trois premières servent à estimer l'intensité lumineuse du fond de l'imagette 12, la dernière l'intensité lumineuse globale de la trace 13 ;  $m_x$ ,  $m_y$  expriment les



coordonnées du centre de la trace 13,  $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  ses largeurs dans des axes principaux qui peuvent être obliques (d'angle  $\theta$ ) par rapport aux axes principaux de l'imagette 12, et  $r_{xy}$  exprime l'étalement de la trace.

5 D'un point de vue mathématique,  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des coefficients d'un plan et  $d$  la hauteur d'une fonction gaussienne de section bidimensionnelle elliptique dont  $m_x$  et  $m_y$  sont les moyennes,  $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  les écarts-types et  $r_{xy}$  la corrélation. Les figures 3 et 4 en donnent une  
10 représentation graphique.

On voit que ce modèle tient compte du rétrécissement de la trace 13 sur l'imagette 12 consécutif à l'éloignement de la marque 3 et de sa déformation consécutive à l'obliquité de la mire 1. Si  
15 on appelle  $\hat{I}(x, y)$  l'intensité lumineuse mesurée sur les points de l'imagette 12, le travail consiste à minimiser la fonction  $C_{min}$  de la formule (3) :

$$C_{min}(a, b, c, d, m_x, m_y, \sigma_x, \sigma_y, r_{xy}) = \sum_{x, y \in I} (I(x, y) - \hat{I}(x, y))^2 \quad (3)$$

20

en faisant varier les variables de cette fonction, c'est-à-dire les paramètres de modélisation, pour que les intensités lumineuses données par celle-ci coïncident au mieux avec les valeurs mesurées. Une  
25 modélisation précise de la trace 13 est alors obtenue : on peut en particulier en déduire le centre par les valeurs de  $m_x$  et  $m_y$  et par conséquent, avec un étalonnage préliminaire connu de la caméra 4, la direction de la marque 3 associée à l'imagette 12  
30 considérée par rapport à la caméra 4.

Le modèle donné précédemment convient pour des marques 3 circulaires, mais il est facile de le transposer à des marques différentes de forme simple.

Il reste maintenant à déterminer la position de la  
5 caméra 4 par rapport aux marques 3. La figure 5 permettra de comprendre les explications qui suivent.

En supposant que les distorsions géométriques causées par l'objectif de la caméra 4 aient été corrigées notamment par le facteur de distorsion  
10 radiale des paramètres intrinsèques de la caméra, ce qui peut aussi être fait par un étalonnage préliminaire de la caméra 4 par photogrammétrie, le point P au centre d'une marque 3 se trouve sur une ligne L de projection passant par le centre  $P_p$  de la trace  
15 correspondante 13 sur l'image 10 et par un foyer F. On appelle i, j et k les axes d'un repère de caméra dont le foyer F est l'origine, l'axe k étant perpendiculaire à l'image 10. Tous les points de l'espace perçus par la  
caméra 4 se projettent sur l'image 10 par une ligne  
20 passant par le foyer F : cette projection convergente est appelée « en perspective ». La position des points  $P_p$ , centres des traces 13, est donc prévisible quand la mire 1 occupe une position donnée dans le champ de la  
caméra 4 ; le problème consiste à retrouver les  
25 relations de rétro-projection qui font passer des points  $P_p$  aux points P. Mais on constate que les relations rigoureuses de rétro-projection, obtenues en inversant les relations de projection permettant de calculer les coordonnées des points  $P_p$  à partir des  
30 coordonnées des points P, ne peuvent pas être exploitées facilement car elles ne consistent pas en un système d'équations linéaires.

C'est pourquoi on préconise de recourir à une première évaluation de la position des points P ; cette première évaluation est approximative mais elle peut être obtenue facilement et permet ensuite d'appliquer

5 un procédé de convergence vers la solution réelle. Le principe retenu consiste à supposer que les points P se projettent sur l'image 10 en deux étapes, d'abord par une projection orthogonale sur un plan intermédiaire  $\Pi$  parallèle au plan de l'image 10, en un point P', puis

10 par une projection en perspective de ce point P' vers le foyer F, qui donne un point Pp' sur l'image 10. Ce point de projection fictive est à côté du point Pp de projection réelle. La première évaluation de la position des points P consiste à appliquer une rétro-

15 projection, inverse de la projection fictive qu'on vient de décrire, aux points Pp de l'image 10 : les points ainsi obtenues sont notés  $^{\circ}P$ .

Ce principe étant exposé, il faut détailler plus précisément les calculs entrepris.

20 La situation de la mire 1 peut être représentée par une rotation R et une translation t conformes aux matrices suivantes (4), qui font passer du repère de la vidéo-caméra 4, défini plus haut, à un repère fixe, lié à la mire 1 :

25

$$t = (t_x, t_y, t_z)^T$$

(4)

$$R = \begin{pmatrix} i_x & i_y & i_z \\ j_x & j_y & j_z \\ k_x & k_y & k_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i^T \\ j^T \\ k^T \end{pmatrix}$$

où  $t_x$ ,  $t_y$  et  $t_z$  sont des coordonnées de translation

30 exprimées dans les axes i, j et k du repère de la

caméra 4 et  $i$ ,  $j$  et  $k$  sont les vecteurs directeurs du repère de la caméra 4 exprimés dans le repère de la mire 1.

Le plan  $\Pi$  est choisi tel que l'origine  $O$  du repère de la mire 1 lui appartienne, ce qui implique que le foyer  $F$  est distant du plan  $\pi$  de la grandeur  $t_z$ .

Si on appelle  $^{\circ}x$ ,  $^{\circ}y$  et  $^{\circ}z$  les coordonnées du point  $P$  dans le repère de la mire 1 et  $\bar{u}$  et  $\bar{v}$  les coordonnées du point  $P'$  sur l'image 10, on peut obtenir les relations suivantes (5) :

$$\frac{i (^{\circ}x, ^{\circ}y, ^{\circ}z)^T + t_x}{t_z} = \bar{u} \quad (5)$$

$$\frac{j (^{\circ}x, ^{\circ}y, ^{\circ}z)^T + t_y}{t_z} = \bar{v}$$

15

Ces équations peuvent être généralisées à un nombre  $n$  de points  $P$  de la mire 1 de la manière suivante (6) :

20

$$A \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \bar{u}$$

(6)

$$A \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix} = \bar{v}$$

où les notations  $I$ ,  $J$ ,  $A$ ,  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$  sont données par les équations que voici (7) :

$$\begin{cases} I_1 = i_x / t_z \\ I_2 = i_y / t_z \\ I_3 = i_z / t_z \\ I_4 = t_x / t_z \\ J_1 = j_x / t_z \\ J_2 = j_y / t_z \\ J_3 = j_z / t_z \\ J_4 = t_y / t_z \end{cases}$$

5

$$A = \begin{pmatrix} {}^0x_1 & {}^0y_1 & {}^0z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^0x_n & {}^0y_n & {}^0z_n & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} \bar{u}_1 \\ \vdots \\ \bar{u}_n \end{pmatrix}$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} \bar{v}_1 \\ \vdots \\ \bar{v}_n \end{pmatrix}$$

10 Il s'agit alors de calculer les quantités  $I_n$  et  $J_n$ , ce qui est effectué par les formules suivantes (8) :

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = B\bar{u}'$$

(8)

$$\begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix} = B\bar{v}'$$

où la matrice B est la pseudo-inverse de A, c'est-à-dire que  $B = (A^T A)^{-1} A^T$ .

Le calcul des paramètres i, j, k et  $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$  des matrices R et t est alors effectué de façon simple par la succession d'étapes suivantes :

- calcul des normes  $n_i = \|(I_1, I_2, I_3)^T\|$  et  $n_j = \|(J_1, J_2, J_3)^T\|$  ;
- calcul de la norme moyenne  $n = (n_i + n_j) / 2$  ;
- calcul de  $i = (I_1, I_2, I_3)^T / n_i$  et de  $j = (J_1, J_2, J_3)^T / n_j$  ;
- calcul de k par le produit vectoriel des vecteurs i et j ;
- calcul de la composante  $t_z = 1/n$  ;
- calcul de  $t_x = I_4 t_z$  et de  $t_y = J_4 t_z$ .

Quand la position des points  $^oP$  d'estimation de la position des points P a été ainsi obtenue par ces calculs, il convient de la corriger à cause de l'erreur de principe expliquée avec le commentaire de la figure 5. Les points  $^oP$  sont projetés sur le plan de l'image le long d'une ligne dirigée vers le foyer F. Les coordonnées  $\hat{u}$  et  $\hat{v}$  du point de projection  $^oP_p$  sont données par les formules (9) :

$$\frac{i \cdot ({}^o x, {}^o y, {}^o z)^T + t_x}{k \cdot ({}^o x, {}^o y, {}^o z)^T + t_z} = \hat{u}$$

(9)

$$\frac{j \cdot ({}^o x, {}^o y, {}^o z)^T + t_y}{k \cdot ({}^o x, {}^o y, {}^o z)^T + t_z} = \hat{v}$$

25

à comparer aux formules précédentes (5) approchées mais plus simples.

L'estimation définitive des paramètres de localisation de la mire l, c'est-à-dire des valeurs de

coefficients des matrices  $R$  et  $t$  qui donnent la position et l'orientation du repère de la mire 1, est obtenue en minimisant l'erreur quadratique entre les coordonnées  $\bar{u}$  et  $\bar{v}$  mesurées sur les points  $P_p$  de l'image 10 et les coordonnées  $\hat{u}$  et  $\hat{v}$  des projections  ${}^oP_p$ , calculées par les formules précédentes (9), des points  ${}^oP$ . On tient compte des incertitudes sur les coordonnées des points  $P_p$  estimés par la modélisation de la trace 13 (ces incertitudes sont représentées par une matrice  $\Lambda$  de coefficients qui peuvent être estimés à l'avance). En d'autres termes, on cherche à minimiser la quantité  $C_{\min}$  donnée par la formule suivante (10) :

$$C_{\min}(R, t) = \sum_{i=1}^n ((\bar{u}_i, \bar{v}_i) - (\hat{u}_i, \hat{v}_i))^T \Lambda^{-1} ((\bar{u}_i, \bar{v}_i) - (\hat{u}_i, \hat{v}_i)) \quad (10)$$

15

On agit par itérations, en déplaçant à chaque fois les points  ${}^oP$  en fonction des positions de leurs projections  ${}^oP_p$  sur l'image 10, jusqu'à ce que ces projections aient suffisamment convergé vers les centres  $P_p$  des traces 13. La localisation de la mire 1 étant connue dans un repère fixe, il est alors possible de connaître celle de la vidéo-caméra 4 dans ce même repère en calculant la transformation inverse.

Voici maintenant une application concrète de ce procédé de localisation. La caméra 4 de localisation peut être disposée, comme l'illustre la figure 6, sur une plate-forme d'une tourelle 20 juchée sur le toit d'un véhicule 21 destiné à recenser, tout en roulant sur un réseau routier, des panneaux 28 de signalisation routière au service de l'administration compétente ou pour constituer des bases de données utilisables pour des logiciels de navigation routière qui commencent à

apparaître sur le marché. Une autre caméra de localisation 22, fixe, est montée directement sur le toit du véhicule 21. On demande à la fois une grande précision de localisation des panneaux 28, de l'ordre  
5 d'une dizaine de centimètres, et un recensement complet, c'est-à-dire sans omission de panneaux 28 bien qu'ils soient de formes et de dimensions très variables et qu'ils puissent être altérés par des salissures, des inclinaisons, qu'ils puissent être partiellement  
10 recouverts par des feuillages ou d'autres obstacles et que leurs positions soient parfois imprévues. Le véhicule 21 est en conséquence équipé de projecteurs 23, ainsi que d'une antenne de localisation 24 situés sur le toit ; il est encore muni, dans l'habitacle,  
15 d'une armoire de commande 25 qui contient un ordinateur et des logiciels de calcul et de commande, ainsi qu'une centrale inertielle 26 à gyroscope et au moins un odomètre 27. Ces éléments connus en soi ne sont pas représentés en détail, mais l'odomètre 27 peut  
20 comprendre un moyen de mesure de la rotation d'au moins une des roues du véhicule 21. La caméra 22 pour détecter les panneaux réfléchissants, ou la caméra 4 pour détecter les panneaux colorés, l'antenne 24, la centrale inertielle 26 et l'odomètre 27 sont reliés à  
25 l'armoire de commande 25.

Expliquons d'abord succinctement comment les panneaux 28 sont détectés. On se sert pour cela de la caméra 22, sensible à l'infrarouge proche, et des projecteurs 23 pour détecter les panneaux  
30 réfléchissants, et/ou de la caméra 4 pour détecter les panneaux colorés. Bien que d'autres méthodes soient possibles, on choisit une caméra 4 dont les images sont traitées de deux façons différentes par autant de



chaînes de mesure parallèles. Des images de l'environnement prises dans le spectre visible sont tout d'abord décomposées en trois images dont chacune ne comprend qu'une des couleurs essentielles (rouge, vert et bleu) de la scène enregistrée. Les panneaux 28 sont reconnus à leurs formes géométriques particulières puis identifiés grâce à cette forme et à leurs couleurs par des logiciels spécialisés qui ne sont pas l'objet de l'invention, et dont certains lisent aussi les inscriptions qu'ils portent. L'autre voie de mesure permet de prendre simultanément des images de la scène dans l'infrarouge proche : les projecteurs 23 émettent une telle lumière, qui présente l'avantage d'être invisible par les autres usagers, vers l'avant du véhicule 21, et cette lumière est réfléchiée par les panneaux 28 vers la caméra 22. On possède ainsi un moyen supplémentaire de faire un recensement complet. Les images de la caméra 22 en infrarouge proche ont un traitement plus simple car elles sont monochromes.

20 L'antenne 24 reçoit des informations de localisation d'un réseau de satellites en orbite circulaire qui permettent de localiser de façon connue le véhicule à la précision souhaitée à la fin de périodes brèves et régulières, de quelques secondes. Il est mis en oeuvre un procédé de localisation dit par GPS différentiel pour obtenir la précision souhaitée. Les longueurs des déplacements du véhicule 21 sont mesurées dans l'intervalle par l'odomètre 27, ses virages sont mesurés par la centrale inertielle 26.

30 L'odomètre 27 et la centrale inertielle 26 sont soumis à une dérive relativement importante mais qui n'a pas le temps d'apparaître vraiment entre deux localisations des satellites avec l'antenne 24.

Ils permettent ainsi d'obtenir une grande précision de localisation à court terme et avec une grande vitesse de répétition (50 Hertz), ce qui permet de calculer précisément la position de la caméra lors  
5 de chaque prise de vue et de compenser la perte du signal d'un satellite GPS en fonction des obstacles.

Cette technique connue d'hybridation, GPS et inertie, peut être mise en oeuvre postérieurement lors du dépouillement des enregistrements effectués en  
10 mission. Elle peut avantageusement être complétée par la technique de mise en correspondance de la trajectoire du véhicule et du fond de carte géographique numérique (map matching).

Les incertitudes inhérentes à ce procédé de  
15 localisation de panneaux 28 proviennent donc essentiellement de l'orientation du véhicule 21 sur le sol et de l'orientation des caméras de localisation 4 et 22 sur la tourelle 20 et le véhicule 21. Il est conforme à l'invention d'appliquer le procédé  
20 précédemment exposé de localisation de la position d'une caméra par une mire fixe de la façon évoquée à la figure 7 : la mire, ici référencée par 101, peut consister en un groupe de catadioptrés 31 collés aux parois d'un bâtiment 32 devant lequel le véhicule 21  
25 doit repasser périodiquement, tel qu'un bâtiment de remise où il revient après ses missions. En repartant pour la mission suivante, il suffit d'arrêter un instant le véhicule 21 devant le bâtiment 32 et d'orienter la caméra de localisation 22 en manoeuvrant  
30 le véhicule ou la caméra de localisation 4 en orientant la tourelle 20 vers les catadioptrés 31 pour prendre une image de la mire 101 qui est analysée de la façon qu'on a décrite, pour en déduire les paramètres

extrinsèques de la caméra de localisation 4, exprimés par les grandeurs  $t$  et  $R$ . La position et l'orientation de la caméra de localisation 4 sont alors déterminées dans un repère fixe et restent ensuite connues à tout instant du trajet, et notamment quand les images des panneaux 28 sont prises, en mesurant les mouvements de rotation de la tourelle 20, les virages du véhicule 21 par la centrale inertielle 26 et ses déplacements par l'odomètre 27 et le système de localisation. On est donc assuré de pouvoir calculer avec la précision souhaitée la position des panneaux 28 à la surface du sol. Si, conformément à une réalisation particulière de l'invention, plusieurs autres caméras de localisation telles que 104 ou 204 sont montées sur la même tourelle 20 ou éventuellement une tourelle voisine et semblable pour prendre elles aussi des images des panneaux 28, ces caméras supplémentaires 104 et 204 sont localisées en même temps par rapport à la mire 101.

L'ensemble des caméras a en effet un champ de vue important et permet de suivre le panneau 28 par des images prises successivement par des caméras différentes, ce qui permet de tourner plus lentement la tourelle 20 sur laquelle toutes les caméras sont montées, ou même de la maintenir immobile. L'invention est d'ailleurs parfaitement applicable à des réalisations sans tourelle 20, où la caméra ou les caméras sont directement montées sur le support mobile tel que le véhicule 21.

La localisation des panneaux 28 peut être faite par plusieurs procédés connus autres que celui de la demande 96 06749 à laquelle on renvoie pour l'exposé de ce procédé particulier de localisation. Certains sont exposés dans "Three dimensional computer vision. A

geometric viewpoint" par Faugeras (The MIT press, 1993), "Photogrammetry Fundamentals and standard process" par Kraus (Bonn, Fred. Dümmler Verlag, 1993, 4<sup>e</sup> édition), ou "3D dynamic scene analysis : a stereo  
5 based approach", par Zhang et Faugeras (Springer-Verlag, 1992). Si l'objet est porteur de marques de positions relatives connues, sa position pourra même être calculée en lui appliquant le procédé de localisation utilisé avec la mire.

10 Une autre application fondée sur un principe de localisation identique est explicitée à l'aide de la figure 8. Un télémanipulateur 40 est manié par un opérateur 41 se trouvant derrière une paroi de protection épaisse 42 qui l'isole de l'environnement  
15 dangereux, radioactif ou autre, d'une chambre close 39. Il ne peut observer qu'un volume réduit à travers la vitre épaisse d'un hublot 43 et a donc des difficultés pour placer une pince 44 d'extrémité du bras du télémanipulateur 40 à la position souhaitée. Si  
20 cependant une caméra 4 identique aux précédentes est montée sur le télémanipulateur, près de la pince 44, pour donner l'image tridimensionnelle de l'environnement autour de la pince 44 par des analyses d'images semblables à celles qui étaient faites pour  
25 les panneaux 28, elle peut procéder périodiquement à des localisations de la caméra 4 en prenant une image d'une mire 201 qui peut être formée, comme la mire 1 précédemment évoquée, par au moins quatre marques 3 circulaires et peintes sur une paroi sans s'étendre  
30 dans un plan commun. L'analyse de l'image par la caméra 4 permet de connaître par la suite la position exacte des éléments de l'environnement, ce qui permet de diriger sans tâtonnement la pince 44 vers les positions

souhaitées en commandant ses déplacements. La pince 44 pourra accomplir un travail de précision, comme saisir un objet, le déposer à côté d'un autre ou tenir et placer une torche de soudage juste au joint de plaquettes juxtaposées à souder, même à des endroits reculés de la chambre 39. Il faut remarquer que les caméras 4 disposées au bout de tels télémanipulateurs 40 doivent être remplacées fréquemment à cause de l'environnement hostile qui les endommage rapidement et qu'elles sont à chaque fois montées à une position différente, ce qui complique l'apprentissage du télémanipulateur 40. Une localisation de la mire 201 est donc faite à chaque changement de caméra 4.

Une autre application du principe de localisation de la position d'une caméra exploite la possibilité d'étalonner la position respective de plusieurs caméras montées sur une tête mobile. Il s'agit de contrôler la géométrie des véhicules (parallélisme des roues) dans un centre de contrôle automobile (cf. Fig.9). le dispositif consiste à équiper les roues 56 du véhicule à contrôler 55 de plaques 54 porteuses de marques rétro-réfléchissantes 57, deux caméras 51 et 52 étant alors placées de part et d'autre et en avant du véhicule. Une technique connue de localisation tridimensionnelle des plaques apparaissant dans le champ de chaque caméra permet de déterminer avec précision la position angulaire de chaque roue 56 par rapport à la caméra 51 ou 52. Il est donc possible de déterminer si les deux roues 56 d'un même côté du véhicule sont parallèles car les plaques de contrôle sont alors dans le champ de la même caméra 51 ou 52 qui fournit le repère.

Afin de contrôler le parallélisme des roues opposées sur un même essieu, il est nécessaire de connaître avec précision la transformation de repère entre les deux caméras. Un premier dispositif  
5 consisterait à fixer de manière rigide les deux caméras 51 et 52 à un support transversal et à étalonner la position des caméras 51 et 52 en mettant en oeuvre la technique de ce brevet. Il serait nécessaire de disposer une mire porteuse de marques dans le champ des  
10 deux caméras afin de connaître la position de chaque caméra dans le repère de cette mire, et par différence, la transformation de position entre les deux caméras 51 et 52.

Ce dispositif de contrôle de géométrie des  
15 véhicules impliquerait une réalisation mécanique rigide et stable, qui sera lourde à installer et encombrante.

On peut avantageusement, selon le dispositif de la figure 9, installer les deux caméras 51 et 52 de part et d'autre du véhicule sur des supports 60 légers et  
20 indépendants (trépieds). La caméra 52 est équipée d'une plaque 59 porteuse de marques 58 orientée vers la caméra 51, et une troisième caméra 53 est solidaire du support de la caméra 51 et orientée vers la caméra 52.

La mise en oeuvre de la technique de ce brevet  
25 analysant les images de la plaque 59 obtenues par la caméra 3 permet de connaître en permanence (à chaque mesure de parallélisme) la position réelle de la caméra 53 par rapport à la plaque 59. Les deux équipements : caméra 51 associée à la caméra 53 d'une part et caméra  
30 52 et sa plaque 59 porteuse de marques 58 d'autre part, sont préalablement étalonnés en usine à l'aide d'un banc de mesure équipé d'une autre caméra et d'une mire

associée pour connaître avec précision leurs paramètres géométriques fixes.

Ainsi avec ce dispositif léger, il sera possible de disposer de la transformation de repère entre la  
5 caméra 51 et la caméra 52 nécessaire au contrôle de parallélisme des quatre roues du véhicule en temps réel sur le site de contrôle quelle que soit la position approximative avec laquelle l'opérateur aura placé les trépieds 60.

10 L'exploitation des images prises par la caméra d'étalonnage 53 est faite de la même manière que précédemment et permet de déduire la position et l'orientation relatives des caméras 51 et 52.

Un tel procédé pourrait être généralisé à tout  
15 système comprenant plusieurs caméras d'observation d'un même objet, ou de portions voisines d'un même objet ou d'un même espace, et dont les vues doivent être corrélées entre elles pour les juxtaposer et reconstituer l'objet ou déduire des caractéristiques de  
20 l'espace observé.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'étalonnage de la position et de l'orientation d'origine d'une caméra (4, 22) disposée sur un support mobile (21, 40) dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir l'environnement d'une mire (1, 101, 201) à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par la caméra ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces ( $P_p$ ) de marques caractéristiques (3) de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra, puis une position et une orientation de la caméra par rapport à la mire.

2. Procédé d'étalonnage, par rapport à une seconde caméra (52), de la position et de l'orientation d'origine d'une première caméra (51) disposée sur un support mobile (60) dans un environnement, caractérisé en ce qu'il consiste à munir la première caméra d'une caméra d'étalonnage (53) et la seconde caméra d'une mire (58) à une position et une orientation connues ; à prendre une image de la mire par la caméra d'étalonnage ; et à analyser l'image de la mire par un système de traitement en relevant des positions de traces ( $P_p$ ) de marques caractéristiques (3) de la mire sur l'image et en déduisant des directions et des éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra d'étalonnage, puis une position et une orientation de la caméra d'étalonnage (53) par rapport à la mire, puis de la première caméra (51) par rapport à la seconde caméra (52).



3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la mire comprend au moins trois marques dans le champ de la caméra à étalonner, et  
5 avantageusement plus de trois marques non coplanaires.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la position et l'orientation de la caméra d'étalonnage par rapport  
10 à la mire sont déduites sous forme d'une position (t) et d'une orientation (R) de la caméra à étalonner par rapport à un repère lié à la mire.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à déduire les directions et les éloignements entre les marques caractéristiques et la caméra d'étalonnage (4, 22) en effectuant une rétro-projection des centres des traces des marques caractéristiques (3) de la mire  
20 d'abord sur un plan ( $\Pi$ ) passant par l'origine du repère de la mire et parallèle au plan de l'image le long de lignes convergeant vers un foyer unique (F), puis dans l'espace, perpendiculairement audit plan parallèle pour obtenir des points de rétro-projection ( $^{\circ}P$ ), et  
25 ensuite, de façon itérative, une projection des points de rétro-projection ( $^{\circ}P$ ) sur le plan de l'image (10) le long de lignes convergeant vers le foyer (F) pour obtenir des points de projection ( $^{\circ}Pp$ ), et une correction de position des points de rétro-projection  
30 pour minimiser un critère d'estimation d'erreur entre des coordonnées des centres des traces ( $Pp$ ) des marques caractéristiques (3) et des points de projection ( $^{\circ}Pp$ ).

6. Procédé de mesure de position tridimensionnelle d'objets fixes (28) au moyen d'une caméra (4, 22) montée sur un support mobile (21, 40), caractérisé en ce qu'il consiste, après avoir appliqué le procédé

5 d'étalonnage selon la revendication 1, à faire subir un déplacement au support (21, 40) jusqu'à l'objet (28) tout en mesurant ce déplacement ; à prendre des images de l'objet par la caméra, entre chacune desquelles le support (21, 40) est de nouveau déplacé ; à analyser

10 les images de l'objet par le système de traitement pour en déduire une direction et un éloignement entre l'objet (28) et la caméra (4) ; à enfin calculer la position de l'objet en utilisant ladite direction et ledit éloignement entre l'objet et la caméra et les

15 déplacements du support.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de caméras (4, 104, 204) disposées sur le support dans des directions de

20 visée différentes, chacune des caméras prenant une image de la mire, et en ce qu'il consiste à déduire des positions et des orientations relatives entre chacune des caméras, à prendre une pluralité d'images de l'objet par ces caméras respectives, à analyser les

25 images de l'objet et à se servir des positions et des orientations relatives pour déduire les directions et les éloignements entre l'objet et les caméras et calculer la position de l'objet.

30 8. Application du procédé conforme à l'une quelconque des revendications 6 ou 7 au recensement de panneaux de signalisation routière (28) dont chacun constitue un objet par un véhicule (21) constituant le

support mobile sur un réseau routier constituant l'environnement, le véhicule étant muni d'un système de localisation par satellites (24, 25) et d'un système d'orientation à inertie (26).

5

9. Application du procédé conforme à l'une quelconque des revendications 6 ou 7 à la télémanipulation, un bras télémanipulé constituant le support de la caméra (4).

10

10. Application du procédé conforme à la revendication 2 à l'observation du contenu d'un même espace à partir des vues partielles fournies par plusieurs caméras situées dans ce même espace.

15

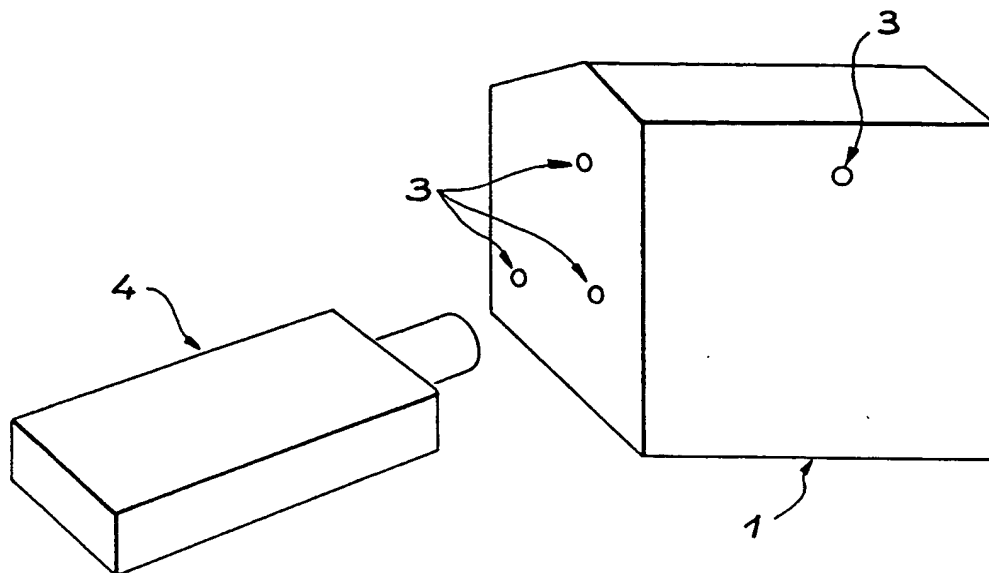


FIG. 1

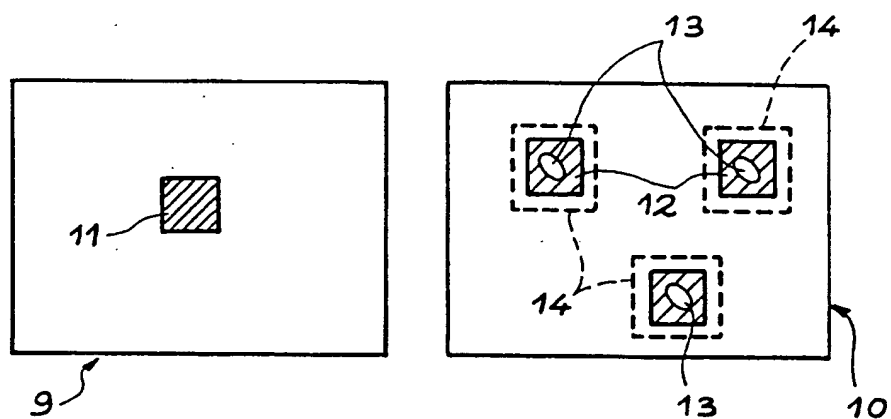


FIG. 2

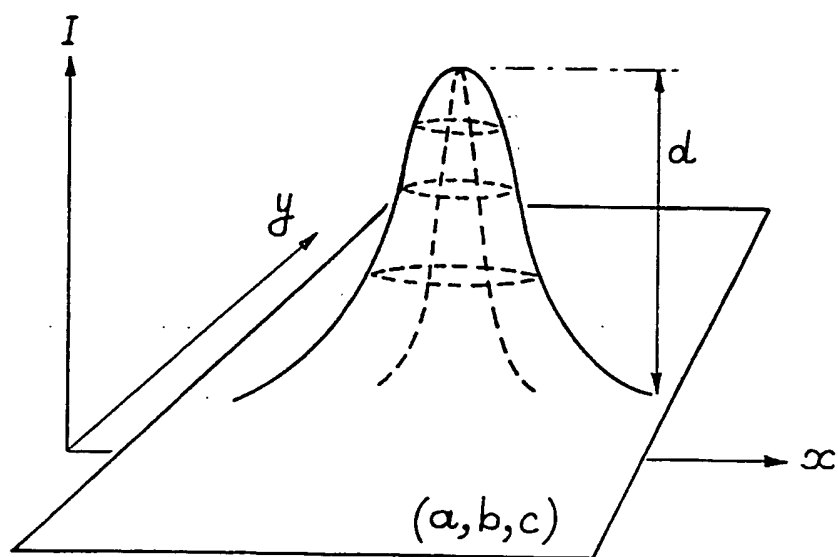


FIG. 3

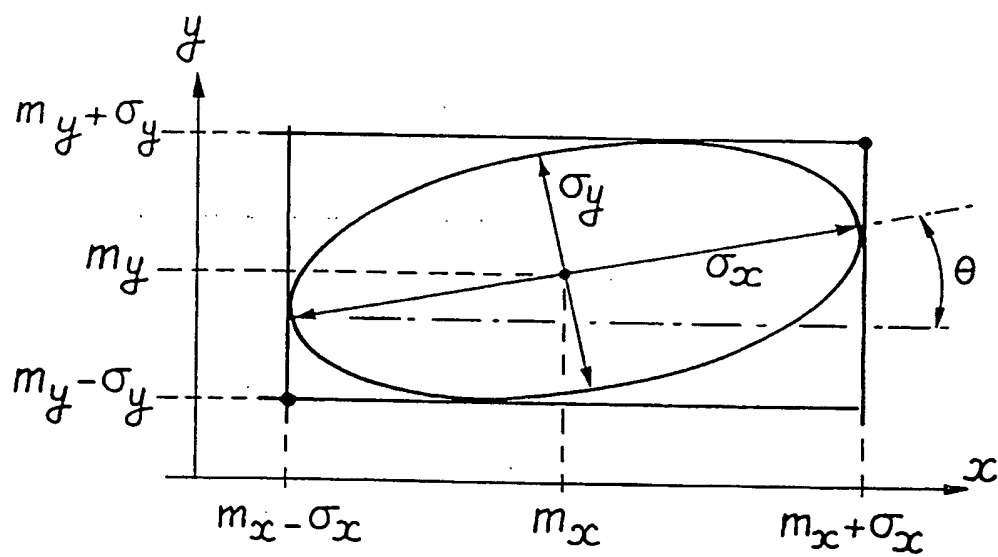


FIG. 4

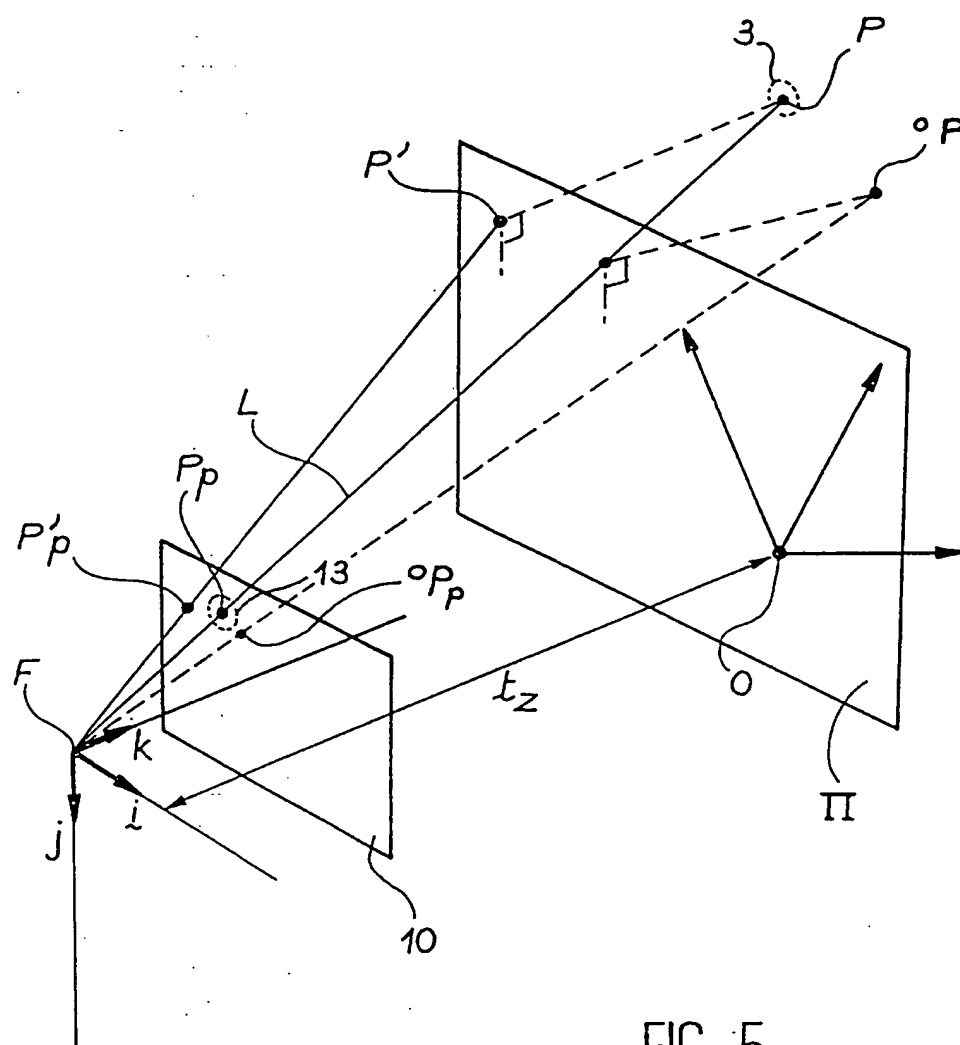


FIG. 5

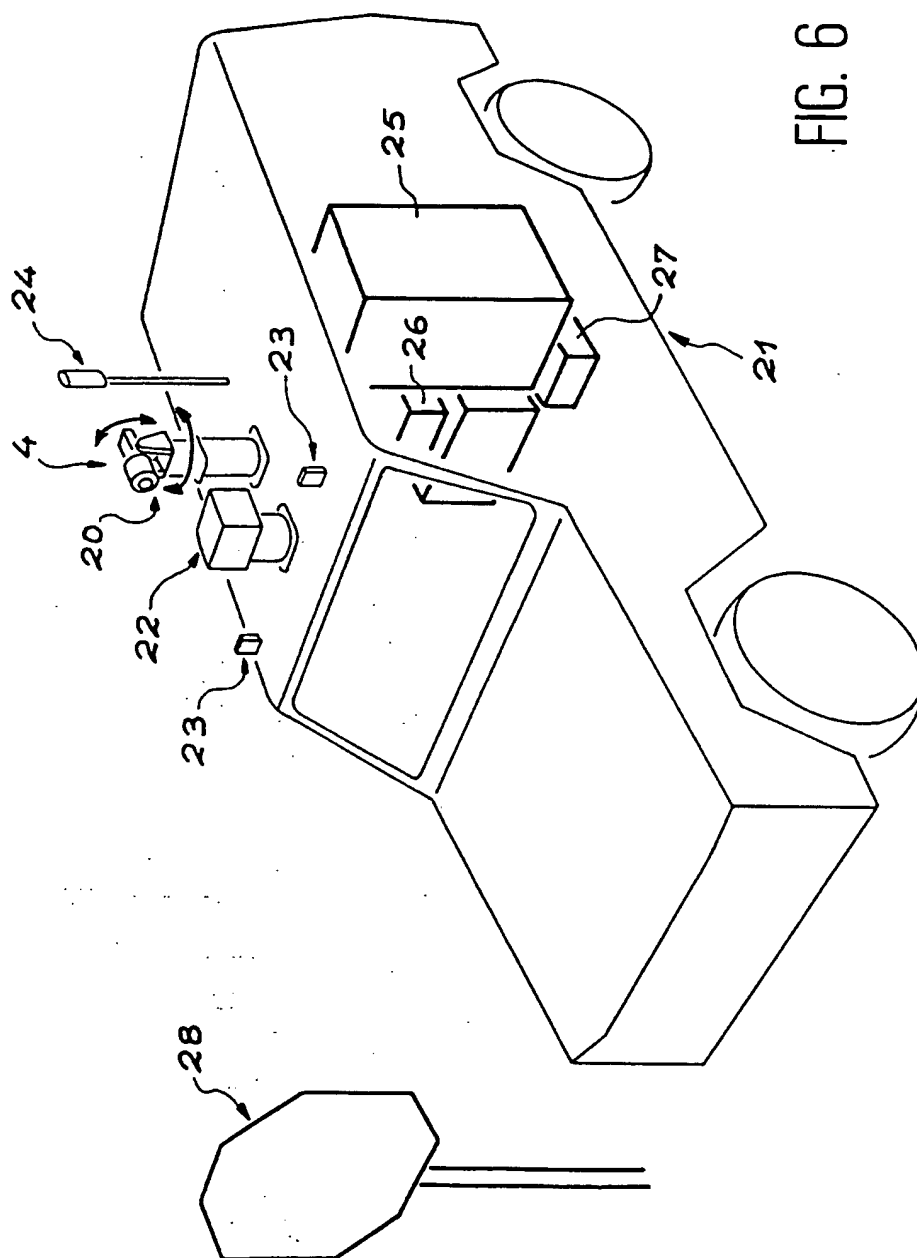


FIG. 6

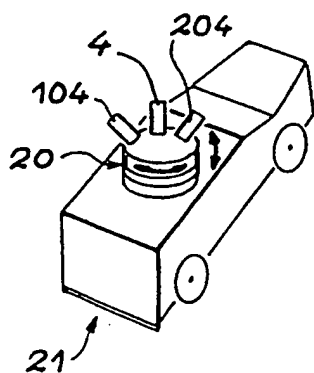
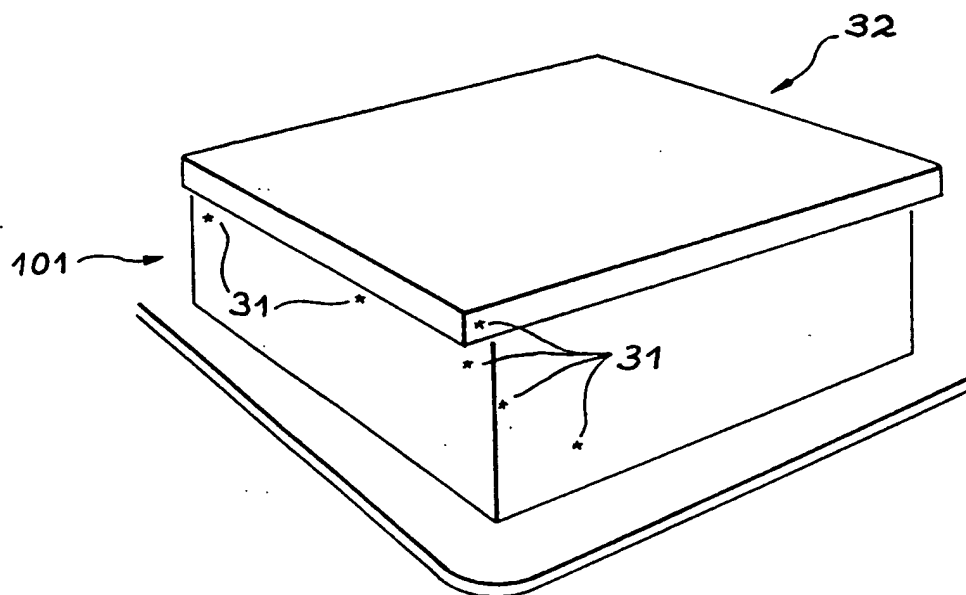


FIG. 7

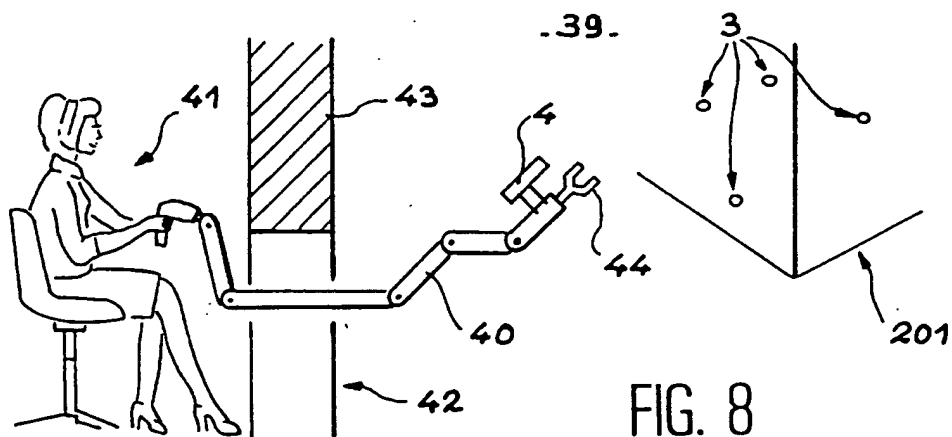


FIG. 8



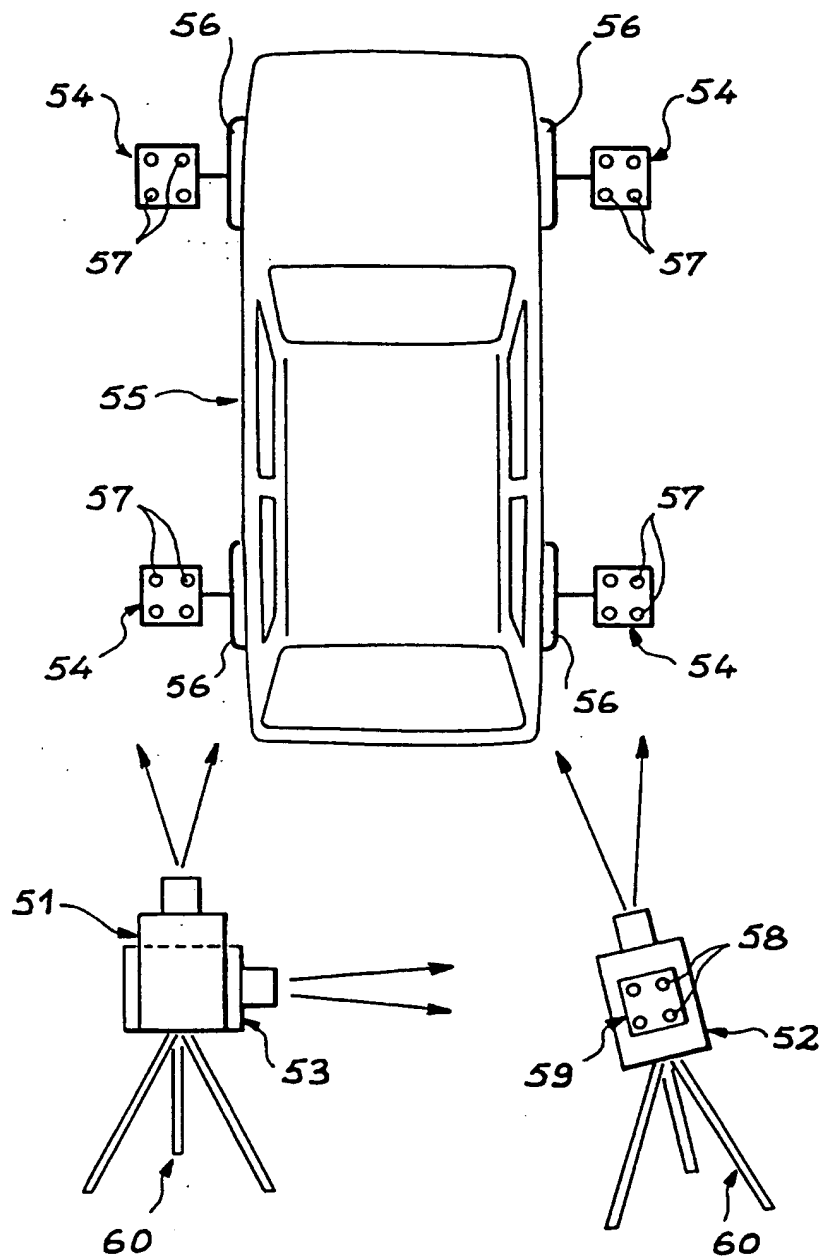


FIG. 9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In <sup>national</sup> Application No

PCT/FR 98/02270

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 G05D1/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	FR 2 749 419 A (SAGEM) 5 December 1997 cited in the application see abstract; figure 2 ---	1
A	WO 94 29774 A (BERTIN & CIE ;LORRAINE LAMINAGE (FR); ABITBOL MARC (FR); MAILLART) 22 December 1994 see page 3, line 36 - page 6, line 14 see page 8, line 35 - page 9, line 9; figure 1 ---	1
A	US 5 285 397 A (HEIER HELMUT ET AL) 8 February 1994 see column 3, line 57 - column 6, line 27; figures 1,6 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 February 1999

Date of mailing of the international search report

19/02/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Anderson, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 98/02270

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A, P	FR 2 760 277 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 4 September 1998 cited in the application -----	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 98/02270

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
FR 2749419	A	05-12-1997	EP	0810496 A	03-12-1997
WO 9429774	A	22-12-1994	FR	2706345 A	23-12-1994
			EP	0655148 A	31-05-1995
			JP	8500460 T	16-01-1996
			US	5784282 A	21-07-1998
US 5285397	A	08-02-1994	DE	3941144 A	20-06-1991
			CH	681656 A	30-04-1993
FR 2760277	A	04-09-1998	EP	0863413 A	09-09-1998
			JP	10253322 A	25-09-1998

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De l'Office Internationale No  
PCT/FR 98/02270

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 6 G05D1/03		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 6 G05D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X,P	FR 2 749 419 A (SAGEM) 5 décembre 1997 cité dans la demande voir abrégé; figure 2 ---	1
A	WO 94 29774 A (BERTIN & CIE ;LORRAINE LAMINAGE (FR); ABITBOL MARC (FR); MAILLART) 22 décembre 1994 voir page 3, ligne 36 - page 6, ligne 14 voir page 8, ligne 35 - page 9, ligne 9; figure 1 ---	1
A	US 5 285 397 A (HEIER HELMUT ET AL) 8 février 1994 voir colonne 3, ligne 57 - colonne 6, ligne 27; figures 1,6 --- -/--	1
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>		
* Catégories spéciales de documents cités: <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <b>15 février 1999</b>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <b>19/02/1999</b>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  <b>Anderson, A</b>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De Titre Internationale No  
PCT/FR 98/02270

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A,P	FR 2 760 277 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 4 septembre 1998 cité dans la demande -----	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De l'Union internationale No

PCT/FR 98/02270

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2749419 A	05-12-1997	EP 0810496 A	03-12-1997
WO 9429774 A	22-12-1994	FR 2706345 A	23-12-1994
		EP 0655148 A	31-05-1995
		JP 8500460 T	16-01-1996
		US 5784282 A	21-07-1998
US 5285397 A	08-02-1994	DE 3941144 A	20-06-1991
		CH 681656 A	30-04-1993
FR 2760277 A	04-09-1998	EP 0863413 A	09-09-1998
		JP 10253322 A	25-09-1998